MANUAL DE PRÁCTICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PRÁCTICAS I

INTRODUCCIÓN
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

por

BEATRIZ ABENZA RUÍZ
MARÍA DEL MAR BARBERO BARRERA
FRANCISCO HERNÁNDEZ OLIVARES



CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

2-85-01

MANUAL DE PRÁCTICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PRÁCTICAS I

INTRODUCCIÓN
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

por

BEATRIZ ABENZA RUÍZ
MARÍA DEL MAR BARBERO BARRERA
FRANCISCO HERNÁNDEZ OLIVARES

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

2-85-01

C U A D E R N O S
D E L I N S T I T U T O
J U A N D E H E R R E R A

NUMERACIÓN

2 Área
51 Autor
09 Ordinal de cuaderno (del autor)

TEMAS

1 ESTRUCTURAS
2 CONSTRUCCIÓN
3 FÍSICA Y MATEMÁTICAS
4 TEORÍA
5 GEOMETRÍA Y DIBUJO
6 PROYECTOS
7 URBANISMO
8 RESTAURACIÓN
0 VARIOS

Manual de prácticas de Materiales de construcción.
Prácticas I. Introducción. Propiedades.

Instituto Juan de Herrera.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
Gestión y portada: Almudena Gil Sancho.
CUADERNO 325.01 / 2-85-01
ISBN-13 (obra completa): 978-84-9728-361-8
ISBN-13: 978-84-9728-362-5
Depósito Legal: M-35150-2011

Este cuaderno forma parte de una serie en la que se recogen las prácticas de laboratorio a realizar en la asignatura de Materiales de Construcción correspondiente al segundo curso (tercer semestre) del Grado en Arquitectura de la Escuela Técnica Superior de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

PRÁCTICAS I:
Introducción
Propiedades físicas y mecánicas (ud. 2 y 3)

PRÁCTICAS II:
Metales (ud. 4)

PRÁCTICAS III:
Cerámica, vidrio y piedra natural-áridos (ud. 5, 6 y 7)

PRÁCTICAS IV:
Conglomerantes y conglomerados (ud. 8)
Hormigón (ud. 9)

PRÁCTICAS V:
Madera y productos vegetales (ud. 10)
Plásticos y bituminosos (ud. 11 y 12)

En concreto, en éste se recogen los siguientes ensayos:

Introducción:
- Estadística

Propiedades físicas y mecánicas (ud. 2 y 3):
- Densidad y porosidad (I)
- Densidad y porosidad (II)
- Absorción de agua por inmersión
- Absorción de agua por capilaridad
- Entumecimiento de arenas
- Rotura de piezas a compresión
- Rotura de piezas a flexotracción
- Módulo de elasticidad dinámico por ultrasonidos
- Dureza y estimación de resistencia mecánica mediante esclerómetro
- Dureza superficial Shore
- Dureza superficial Brinell

INTRODUCCIÓN

ESTADÍSTICA

(En colaboración con el profesor Juan Francisco Padial Molina)

Para conocer alguna característica de una población, no siempre es posible estudiar la población entera, por eso se opta por tener un conocimiento parcial de la población, que se denomina muestra, mediante un análisis estadístico.

Los primeros pasos para este análisis son la recogida de datos, ordenación y presentación de esos datos y resumen y representación numérica y gráficamente de esos datos. De todos estos pasos se encarga la Estadística Descriptiva, con una idea implícita: "Lo que ocurre en toda la población, seguramente es bastante parecido a lo que ocurre en la muestra".

El proceso de recogida de datos, o el diseño del experimento, es fundamental, pues un proceso mal efectuado puede desvirtuar la información que se desea recoger y falsear lo datos.

Finalmente, para obtener información de la población, extrapolando los datos obtenidos de la muestra de población se emplea la Inferencia, haciendo uso del cálculo de probabilidades.

Una variable estadística X puede ser cualitativa si sólo puede tomar valores no numéricos (por ejemplo colores, fabricantes, minerales de composición,...) o cuantitativa si toma valores numéricos.

Se puede distinguir entre dos tipos de variables cuantitativas: Discretas si sólo pueden tomar un conjunto finito o numerable de valores, generalmente valores enteros (número de mediciones tomadas en un ensayo, probetas ensayadas). Y continuas, cuando pueden tomar cualquier valor en un intervalo, ya sea finito o infinito (como el peso de un material o su densidad).

Tanto para variables discretas como para continuas, se emplea la siguiente notación:

n: tamaño de la muestra=número de elementos observados

x_1, ..., x_n: representan los n valores de la variable estadística obtenidos en la muestra (puede haber repeticiones

Si se estudian variables continuas, se pueden agrupar los datos en una serie de clases A_1, ..., A_k, así la notación sería:

x_1, ..., x_k: representantes de las clases A_1, ..., A_k (generalmente los puntos medios de los intervalos)

n_1, ..., n_k: número de veces que se repite cada valor (frecuencias absolutas)

f_1, ..., f_k: frecuencia relativa, es igual a la frecuencia absoluta dividida por el número total de datos u observaciones ($f_i=n_i/n$)

Medidas de posición:

A partir de los datos individuales, se pueden conocer algunos valores que final el comportamiento global del caso estudiado con medidas de posición, algunas son de centralización, como la media, la mediana, la moda y otras son medidas de posición no centrales como los cuantiles, de los que veremos los percentiles.

Media muestral: $x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$; cuando se trate de una variable continua con los datos agrupados, usaremos: $x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k} n_i \cdot x_i = \sum_{i=1}^{k} f_i \cdot x_i$; es como si el valor x_i hubiera aparecido n_i veces.

Mediana muestral: Es el valor de la muestra que, una vez ordenadas las observaciones, deja el mismo número de éstas a izquierda y derecha. Si hay un número impar de

observaciones, la mediana se corresponderá con el valor central, si las observaciones son pares, se toma como valor la media de las dos observaciones centrales.

Moda: es el valor que aparece más repetido en la muestra. Hay que tener en cuenta que la moda puede no ser un valor central, ni ser representativo de la muestra. En una distribución de frecuencias, corresponde a la variable de máxima frecuencia, puede existir más de una moda.

Los cuantiles son valores que dividen una distribución en partes iguales, los más empleados son los percentiles, en los que noventa y nueve puntos dividen a la distribución en cien partes, y dentro de cada parte se encuentra el 1% de los valores. La mediana corresponde al percentil 50 (P_{50}).

Medidas de dispersión:
Una vez conocidos los valores de centralización, conviene conocer cuál es la separación de los datos respecto a los valores centrales, hay que conocer las medidas de dispersión.

Varianza: $v_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$; y si desarrollamos el cuadrado, la expresión queda de la siguiente manera: $v_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i^2 - \bar{x}^2$.

Cuando se trate de una variable continua con los datos agrupados, la expresión será análoga: $v_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}n_i x_i^2 - \bar{x}^2 = \sum_{i=1}^{k}f_i x_i^2 - \bar{x}^2$

Si la dispersión es muy grande (es decir el valor de la varianza es alto), la media no será una medida de posición representativa. Hay que tener en cuenta que la varianza se mide en unidades cuadradas, que no son las mismas que las de la variable que estamos estudiando, por eso necesitamos otra medida.

La desivación típica, es la raíz cuadrada de la varianza, tiene las mismas unidades de medida que la distribución. $\sigma = \sqrt{v_x}$

Uno de los objetivos del análisis estadístico es encontrar relaciones entre más de una variable. Para ello, el diseño del experimento se orientará de modo que dejando fija una de ellas se conozcan las variaciones de la segunda o al contrario.
La representación gráfica más útil de dos variables continuas es el diagrama de dispersión, que se obtiene representando cada observación bidimensional (x,y), como un punto en el plano cartesiano, es decir tomando las dos variables de estudio como coordenadas. Con esto obtenemos una nube de puntos que nos puede dar una idea visual de las posibles relaciones existentes.

La covarianza muestral entre las observaciones de X e Y se define como: $cov_{x,y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$, o expresado de otro modo: $cov_{x,y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i y_i - \bar{x}\cdot\bar{y}$

Una vez representadas ambas variables en una nube de puntos, podemos observar si la aproximación gráfica a esa nube se podría hacer mediante una recta o cualquier otra función matemática (exponencial, logarítmica...) que podría calcularse con el cambio de variable en la componente independiente de una recta por otra función.
Así que estudiaremos el modelo de regresión lineal.

La recta de regresión de Y sobre X es la recta de la forma y=a+bx (o podría ser la recta $y=a+bf_x$)que minimiza el error cuadrático medio (E.C.M.) que quiere decir que la distancia entre el punto Y de la recta y la variable Y del estudio para cada variable X es la menor posible para todos los valores que toma X.

Obviamente, según sea la nube de puntos, la recta de regresión la representará mejor o peor, esto lo podemos medir según el error cuadrático medio cometido, que es la varianza residual. Para ello nos conviene conocer el coeficiente de correlación:

$$r = \frac{cov_{x,y}}{\sqrt{V_x V_y}} = \frac{cov_{x,y}}{\sigma_x \sigma_y}$$

El coeficiente de correlación muestral siempre toma un valor entre -1 y 1. Al existir relación entre el valor de este coeficiente y la nube de puntos, se puede deducir que si $r \cong |1|$ la relación entre X e Y es proporcional (directa o inversamente). Y si $r \cong 0$ se interpreta como la no existencia de una relación lineal entre las dos variables estudiadas.

REFERENCIAS:

De la Horra Navarro, J. (2003): "Estadística aplicada", Madrid, Ediciones Díaz de Santos

EJEMPLO 1:

En 1978, H. Cavendish realizó una serie de 29 experimentos con objeto de medir la densidad de la tierra. Sus resultados, tomando como unidad la densidad del agua, fueron:

5,50	5,61	4,88	5,07	5,26	5,55	5,36	5,29	5,58	5,65
5,57	5,53	5,62	5,29	5,44	5,34	5,79	5,10	5,27	5,39
5,42	5,47	5,63	5,34	5,46	5,30	5,75	5,68	5,85	

Analizar descriptivamente:

Solución:
Representamos los datos sobre la variable estadística X="Densidad de la tierra" con un diagrama llamado "de tallos y hojas":

48	8
49	
50	7
51	0
52	6997
53	64940
54	4276
55	5873
56	15238
57	95
58	5

Ordenando los datos de menor a mayor, la mediana sería el dato que ocupa el puesto decimoquinto: M=5,46

Podemos calcular también la media: $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum x_i = 5{,}45$

Y la desviación típica: $\sigma = \sqrt{V_x} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} = 0{,}16$

Podemos observar que la media y la mediana son muy similares, y el valor de la desviación típica muy bajo.

Vemos que en este caso aparecen varias modas. 5,29 y 5,34.

EJEMPLO 2:

La tabla siguiente presenta tres conjuntos de datos preparados por el estadístico Frank Anscombe para ilustrar los peligros de hacer cálculos sin antes representar los datos. Los tres conjuntos de datos tienen la misma correlación y la misma recta de regresión.

Conjunto de datos A:

x	10	8	13	9	11	14	6	4	12	7	5
y	8,04	6,95	7,58	8,81	8,33	9,96	7,24	4,26	10,84	4,82	5,68

Conjunto de datos B:

x	10	8	13	9	11	14	6	4	12	7	5
y	9,14	8,14	8,74	8,77	9,26	8,10	6,13	3,10	9,13	7,26	4,74

Conjunto de datos C:

x	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	19
y	6,58	5,76	7,71	8,84	8,47	7,04	5,25	5,56	7,91	6,89	12,50

a) Calcula la correlación y la recta de regresión para los tres conjuntos de datos y comprueba que son iguales
b) Dibuja un diagrama de dispersión para cada uno de los conjuntos de datos con las rectas de regresión correspondientes
c) ¿En cuál de los tres casos utilizarías la recta de regresión para predecir Y dado X=14. Justifica, en cada caso, tu respuesta
   Conclusión: representa siempre tus datos.

Solución:

a) En efecto, la recta de regresión de Y sobre X y el coeficiente de correlación son iguales para los tres conjuntos de datos:
Recta de regresión: $y=3+0{,}5x$

Coeficiente de correlación: $r = \dfrac{cov_{x,y}}{\sqrt{V_x V_y}} = \dfrac{cov_{x,y}}{\sigma_x \sigma_y}$; siendo:

$$cov_{x,y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \bar{x}\cdot\bar{y};$$

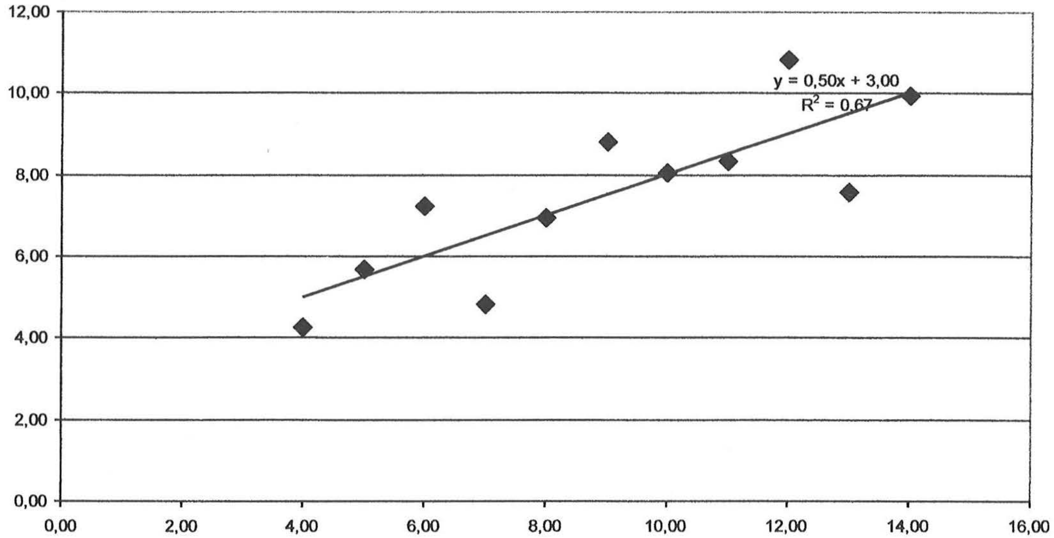
$$\sigma = \sqrt{V_x} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

Conjunto de datos A: $cov_{x,y}=5{,}00$; $\sigma_x=3{,}16$; $\sigma_y=1{,}94$; $r_A=0{,}82$
Conjunto de datos B: $cov_{x,y}=5{,}00$; $\sigma_x=3{,}16$; $\sigma_y=1{,}94$; $r_B=0{,}82$
Conjunto de datos C: $cov_{x,y}=5{,}00$; $\sigma_x=3{,}16$; $\sigma_y=1{,}94$; $r_C=0{,}82$

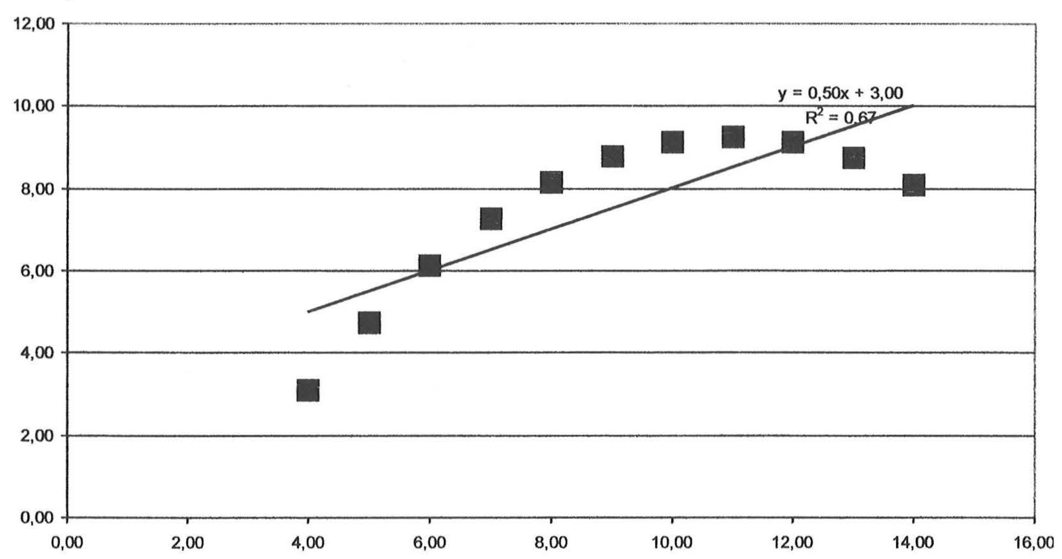
b) Diagramas de dispersión:

c) Según se deduce de los gráficos, el único caso en que sería lógico utilizar la recta de regresión para predecir el valor de Y cuando X=14, sería el primero: $y=3+0{,}5(14)=10$.

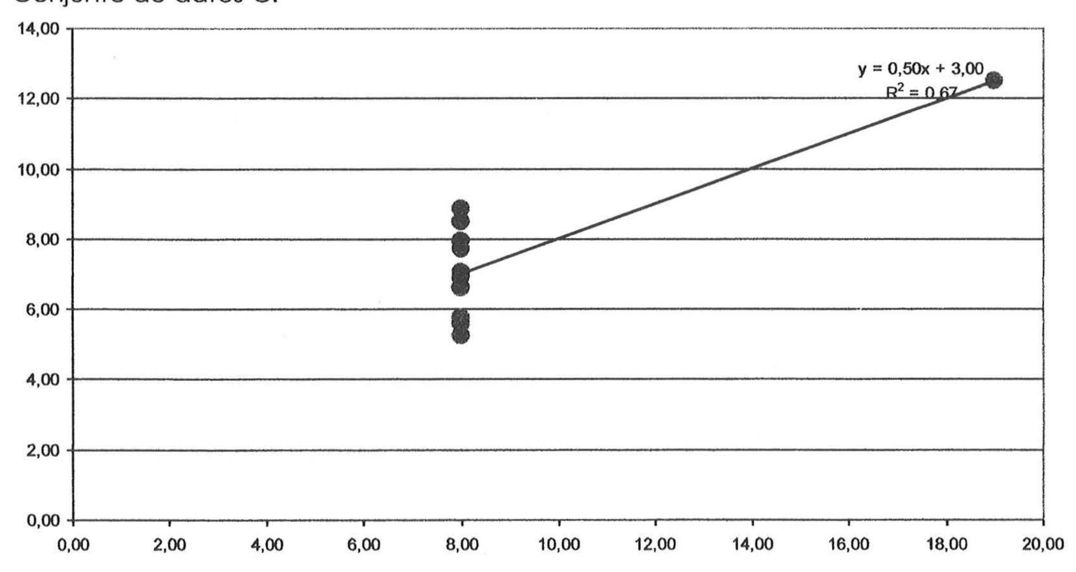

Conjunto de datos A:



Conjunto de datos B:



Conjunto de datos C:



PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

DENSIDAD Y POROSIDAD (I)

Definiciones:

- Peso natural (m_{nat}): Peso del material con humedad ambiente
- Peso seco (m_0): Peso del material desprovisto de toda humedad
- Peso saturado (m_{sat}): Peso del material cuando ya no es capaz de absorber más agua
- Peso sumergido (m_{sum}): Peso del material totalmente sumergido (embebido) en agua
- Volumen real (V_0): Es el volumen únicamente de la materia sólida de un cuerpo poroso, es decir, el volumen aparente menos el volumen de poros cerrados y el volumen de poros abiertos.
- Volumen aparente (V_a): Se trata de la suma de volúmenes de la materia sólida junto con el volumen de poros abiertos (V_{pa}) y cerrados (V_{pc}). $V_a=V_0+V_{pa}+V_{pc}$
- Densidad real (ρ_0): Relación entre la masa de un material y su volumen real: $\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$
- Densidad aparente(ρ_a): Es la relación entre la masa de un cuerpo sin humedad (masa seca) y su volumen aparente.

Los cuerpos porosos tienen un volumen aparente que se puede conocer por su geometría, pero en este volumen se incluye también el volumen de los poros que tenga el material ya se trate de poros abiertos o poros cerrados.

El volumen de poros abiertos (los que están en contacto con la atmósfera) determina la capacidad de absorber agua cuando el material se encuentre sumergido, en contacto con láminas de agua (capilaridad) o en estado natural (humedad ambiente).

Mediante una balanza hidrostática se puede conocer el volumen aparente de un cuerpo sólido según el Principio de Arquímedes ("*todo cuerpo parcial o totalmente sumergido en un fluido experimenta un empuje ascensional igual al peso del fluido desplazado*").

Volumen aparente: $V_a = \frac{m_{sat} - m_{sum}}{\rho_{fluido_desplazado}}$

Volumen de poros: $V_p=V_a-V_0$

Volumen de poros abiertos: $V_{pa} = \frac{m_{sat} - m_0}{\rho_{fluido_desplazado}}$

La densidad aparente de un material no es una propiedad intrínseca del material y depende de su compacidad. Es decir de la relación que exista entre el volumen real de un cuerpo y su volumen aparente: $\chi_0(\%) = \frac{V_0}{V_a} x100$

Para materiales densos y de baja porosidad, la diferencia entre densidad aparente y real o entre porosidad abierta y total no es muy significativa. Por lo que es suficiente determinar la densidad aparente: $\rho_a = \frac{m_0}{V_a}$; y la porosidad abierta: $\beta(\%) = \frac{V_{pa}}{V_a} x100$.

La porosidad absoluta se calcula como la relación entre el volumen total de poros y el volumen aparente: $\eta(\%) = \frac{V_p}{V_a} x100$; y se puede calcular también en función de las densidades real y aparente: $\eta(\%) = \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho_0} x100$.

Se puede relacionar también la compacidad con la porosidad absoluta: $\chi_0=100-\eta$

El módulo de saturación es la relación entre el volumen de poros abiertos y el volumen de poros totales: $\xi(\%)=\frac{V_{pa}}{V_p}x100$; también se puede expresar: $\xi(\%)=\frac{\beta}{\eta}x100$. Un material se considera heladizo, cuando su módulo de saturación es mayor a 70%.

REFERENCIAS

UNE-EN 623-2 "Cerámicas técnicas avanzadas. Cerámicas monolíticas. Propiedades generales y estructurales. Parte 2: Determinación de la densidad y la porosidad"

UNE-EN 772-4 "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 4: Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad total y abierta de piezas de piedra natural para fábrica de albañilería".

UNE-EN 1936 "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total"

PROCEDIMIENTO

Para iniciar el estudio de la porosidad y densidad de un material se anota su peso natural (m_{nat}), y se procede a secar el material a (70±5)°C hasta obtener masa constante. Se considera masa constante cuando la diferencia entre pesadas sucesivas es inferior a 0.1%.

Una vez seco se dejan enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente. A continuación se registra el peso seco (m_0) y se introducen en un tanque hasta quedar completamente sumergidas y cubiertas por dos centímetros de agua y separadas del fondo del recipiente.

El contenido de humedad natural se expresa: $H(\%)=\frac{m_{nat}-m_0}{m_0}x100$

A distintos intervalos de tiempo se pesan las probetas secándolas antes con un paño húmedo. Se repite hasta que la diferencia entre pesadas sucesivas sea inferior al 0.1%, conociéndose así el peso saturado (m_{sat}).

El peso sumergido se conoce pesando la muestra saturada de agua en balanza hidrostática (m_{sum})

PRÁCTICA DENSIDAD Y POROSIDAD (I)

Nombre: **Nº exp:**

Material 1:

	m_{nat} (g)	m_0 (g)	H (%)	M_{sat} (g)	M_{sum} (g)	V_a (cm³)	ρ_a (g/cm³)	β (%)
Probeta 1								
Probeta 2								
Probeta 3								
Valor medio								

Tabla comparativa

	Cerámicos		
Material			
m_{nat} (g)			
m_0 (g)			
H (%)			
M_{sat} (g)			
M_{sum} (g)			
V_a (cm³)			
ρ_a (g/cm³)			
β (%)			

Tabla comparativa (pétreos)

	Pétreos		
Material			
m_{nat} (g)			
m_0 (g)			
H (%)			
M_{sat} (g)			
M_{sum} (g)			
V_a (cm^3)			
ρ_a (g/cm^3)			
β (%)			

DENSIDAD Y POROSIDAD (II)

Los materiales porosos, a pesar de que su tamaño de partícula sea muy reducido, disponen de un determinado volumen de poros no accesibles desde el exterior y que dificulta el conocimiento de la masa real sólida existente en un determinado volumen, esto es, su grado de compacidad, entendiendo ésta como la relación entre la densidad real y la aparente de un determinado material.

En este sentido, en la práctica se plantea como objetivo la determinación de la densidad real de los materiales a partir de la cual, junto con las anteriores, se podrá conocer no sólo la porosidad absoluta o total del material sino también su compacidad y módulo de saturación.

REFERENCIAS

ASTM C 854-92 "Standard test method for Specific Gravity of Soils"

UNE 103302 1994 "Determinación de la densidad relativa de las partículas de un suelo"

UNE EN 1936:2006 "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total"

PROCEDIMIENTO

La práctica comienza con la toma de muestras del material a estudiar. Éste ha de secarse en estufa ventilada a (60±5)°C hasta masa constante, tras lo cual se procede a la reducción de su tamaño de partícula mediante trituración hasta lograr un tamaño que pase por el tamiz de 5 mm.

Del material resultante se extraen 50 gramos que, nuevamente, se desecan a una temperatura de (60±5)°C hasta masa constante. Una vez secados, se dejan enfriar en un desecador, para evitar que absorban la humedad ambiental, y se trituran nuevamente hasta que pasen por el tamiz de 400 micras (0.4 milímetros).

El peso del material a analizar se obtiene directamente mediante la balanza, mientras que su volumen se determina por el método del picnómetro, como la relación entre el peso del líquido desplazado y la densidad del líquido empleado. Con objeto de que tanto el material sólido como el líquido estén a la misma temperatura, se emplea comúnmente un baño termostático sólo que, en nuestro caso, se supone que todos los materiales se encuentran a la misma temperatura siendo ésta la del laboratorio.

Para conocer el volumen del picnómetro (de 50-100 cm^3), primeramente, se calibra con agua destilada. Se llena el picnómetro con agua destilada hasta por encima de la línea de enrase, se expulsan las burbujas de aire que puedan haber quedado ocluidas. A continuación, el picnómetro se enrasa cuidadosamente con una jeringuilla, sumergiendo la aguja en el agua del picnómetro e inyectando el líquido lentamente, y se determina su peso: $P_{calibrado}$ (En los picnómetros de menores dimensiones se llena el picnómetro y se introduce el cuello verticalmente con un movimiento rápido para que el agua ascienda por el capilar del cuello).

Una vez conocido el volumen del picnómetro, se retira el cuello y se vacía hasta la mitad, aproximadamente, tomando nota del peso del picnómetro con la mitad de agua. $P_{1/2_fluido}$. Al mismo tiempo, se han preparado tres fracciones de 15 gramos, aproximadamente, que se introduce cada una de ellas en un picnómetro, evitando que el material entre en contacto con el picnómetro quedándose adherido al mismo.

Se toma nota del peso de la masa del material sólido en el picnómetro medio lleno de agua: $P_{1/2_fluido+sólido}$.

Dada la importancia de la ausencia de burbujas de aire, éstas han de extraerse sometiendo la muestra con la mitad de líquido a vacío de (2±0.7) kPa, durante un tiempo mínimo de treinta minutos o bien haciendo que el agua del picnómetro hierva durante quince minutos. En nuestro caso, se eliminan describiendo mediante ligeros golpecitos laterales sobre el picnómetro.

Cuando el material esté asentado en la base del picnómetro, se rellena el picnómetro con agua destilada hasta la marca de enrase (comúnmente para asegurar que tanto el material sólido como el agua destilada o el líquido empleado estén a la misma temperatura, se introducen tanto los picnómetros como el recipiente con el agua en un baño termostático durante el tiempo necesario para que ambos estabilicen su temperatura), se enrasa con una jeringuilla, se seca la superficie exterior con ayuda de papel o de un paño y se toma nota del peso del picnómetro con la muestra y lleno del líquido de ensayo: $P_{fluido+sólido}$.

Cuando la práctica ha terminado se limpian adecuadamente los picnómetros, se enjuaga con agua destilada y se introducen en la estufa a 70-80°C para proceder a su secado.

El volumen de la muestra ensayada es:

$$V_0 = \frac{P_{calibrado} + (P_{1/2_fluido+sólido} - P_{1/2_fluido}) - P_{fluido+sólido}}{\rho_{fluido}}$$

Por lo tanto, su densidad será:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

La determinación de la densidad real también puede realizarse mediante el método del volumenómetro de Le Chatelier. La diferencia con el método anterior es que éste se llena con agua destilada hasta la marca de graduación 0 ml, después de lo cual se añaden 50 gramos del material seco (siendo ésta m_0, en gramos) objeto de ensayo en fracciones de 10 gramos, teniendo cuidado, al igual que se indicó con anterioridad que el material no quede adherido a las superficies laterales. Después de añadir cada fracción de 10 gramos, el voluminómetro se agita para dispersar la probeta triturada. Terminada la adición de los 50 gramos se toma nota de la lectura del volumen, V_s, en mililitros (1ml = 1 cm³) del líquido desplazado. En este caso, la densidad se determina según la expresión:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_s} \cdot \rho_{fluido} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

En ambos casos, es preciso tener en cuenta que, si se emplea agua, la densidad de ésta varía en función de la temperatura a la que se realice el ensayo según (UNE EN 103302 1994: tabla 1):

Temperatura (°C)	20	21	22	23	24	25
Densidad (g/cm³)	0,9982343	0,9980233	0,9978019	0,9975702	0,9973286	0,9970770

PRÁCTICA DE DENSIDAD Y POROSIDAD (II)

Nombre: **Nº exp:**

Material 1:

	$P_{calibrado}$ (g)	$P_{1/2flui+sól}$ (g)	$P_{1/2fluido}$ (g)	$P_{fluido+sól}$ (g)	ρ_{fluido} (g/cm³)	V_0 (cm³)	m_0 (g)	ρ_0 (g/cm³)
Probeta 1								
Probeta 2								
Probeta 3								
Valor medio								

Comparación entre materiales:

	Cerámica			Pétreos		
Material						
ρ_0 (g/cm³)						
ρ_a (g/cm³)						
η (%)						
χ_0 (%)						
ξ (%)						

ABSORCIÓN DE AGUA POR INMERSIÓN

Se considera la "absorción específica" de un material como la relación, en tanto por ciento, del agua absorbida y de la masa seca del material que se ensaye.

El coeficiente de absorción de agua, en porcentaje, se determina aplicando la expresión:

$$C_a = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100$$

Donde m_0, m_t son las masas, en gramos, de la probeta seca y saturada, respectivamente. El resultado mostrado es la media aritmética de tres muestras ensayadas del mismo material.

Este coeficiente de absorción está directamente relacionado con la porosidad abierta del material, de tal modo que: $\beta(\%) = \frac{V_{pa}}{V_a} x100$; pero también $\beta(\%) = C_a \frac{\rho_a}{\rho_{agua}}$

Siendo V_{pa} el volumen de poros abiertos y V_a el volumen aparente; y siendo ρ_a la densidad aparente del material y ρ_{agua} la densidad del fluido utilizado (en este caso el agua).

REFERENCIAS

UNE EN 14617-1: 2005 "Piedra aglomerada. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la densidad aparente y la absorción de agua".

UNE 67-027-84 "Ladrillos de arcilla cocida. Determinación de la absorción de agua".

PROCEDIMIENTO

En primer lugar, se seca el material a (70±5)°C hasta obtener masa constante. Se considera masa constante cuando la diferencia entre pesadas sucesivas es inferior a 0.1%.

Una vez seco se dejan enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente. A continuación se registra el peso seco, m_0, y se introducen en un tanque hasta quedar completamente sumergidas y cubiertas por dos centímetros de agua y separadas del fondo del recipiente.

A distintos intervalos de tiempo (en nuestro caso, a 5 y 30 minutos) se pesan las probetas secándolas antes con un paño húmedo. Se registra el peso de cada una (m_t). Se vuelven a sumergir hasta la siguiente pesada.

El ensayo se paraliza cuando la diferencia entre pesadas sucesivas es inferior al 0.1%.

PRÁCTICA DE ABSORCIÓN DE AGUA POR INMERSIÓN

Nombre: **Nº exp:**

Material 1:

Tabla de resultados:

	Peso seco (m_0)	Peso 1 (m_{t1})	Coeficiente1 (%)	Peso 2 (m_{t2})	Coeficiente 2 (%)
Tiempo					
Probeta 1					
Probeta 2					
Probeta 3					
Media					

Tabla de resultados:

	Peso seco (m_0)	Peso 3 (m_{t3})	Coeficiente3 (%)	Peso 4 (m_{t4})	Coeficiente 4 (%)
Tiempo					
Probeta 1					
Probeta 2					
Probeta 3					
Media					

Material 2:

Tabla de resultados:

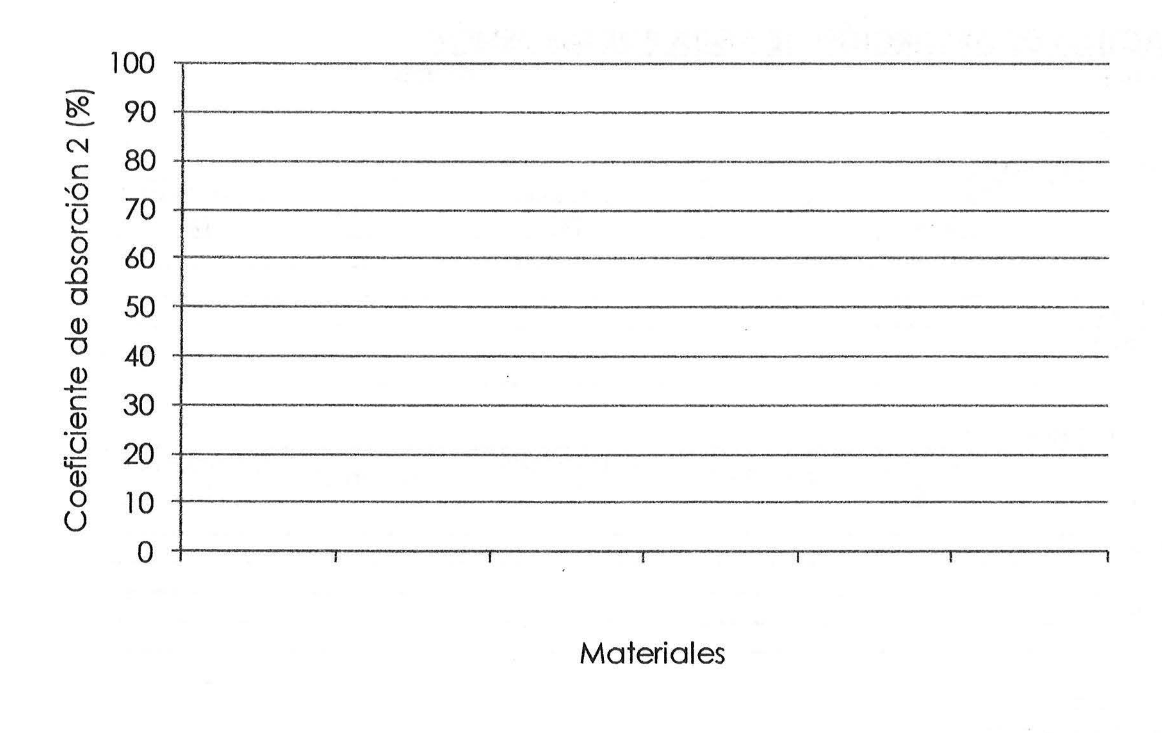
	Peso seco (m_0)	Peso 1 (m_{t1})	Coeficiente1 (%)	Peso 2 (m_{t2})	Coeficiente 2 (%)
Tiempo					
Probeta 1					
Probeta 2					
Probeta 3					
Media					

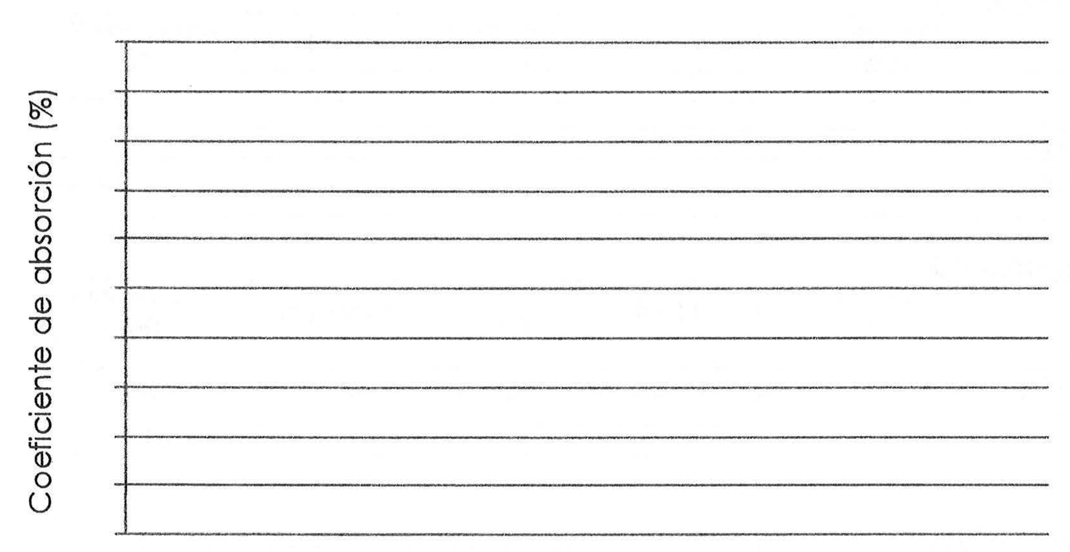
Tabla de resultados:

	Peso seco (m_0)	Peso 3 (m_{t3})	Coeficiente3 (%)	Peso 4 (m_{t4})	Coeficiente 4 (%)
Tiempo					
Probeta 1					
Probeta 2					
Probeta 3					
Media					

Tabla comparativa:

	Pétreos	Cerámicos
Material		
Coef. 1		
Coef. 2		
Coef. 3		
Coef. 4		


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Coeficiente de absorción 2 (%)
Materiales


Coeficiente de absorción (%)
Tiempo (minutos)

ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD

No sólo es importante conocer la cantidad de agua que puede absorber un material, sino también la velocidad a la que lo hace.

El coeficiente de absorción por capilaridad $C_{c,t}$ expresado en $g/(m^2 \cdot s^{0,5})$ se calcula en función del incremento de masas, de la superficie de contacto y de la raíz cuadrada del tiempo, según la expresión:

$$C_{c,t} = \frac{m_t - m_0}{A_s \cdot \sqrt{t}} \cdot 10^6$$

Siendo m_t la masa húmeda de la probeta en el tiempo t, en segundos; m_0 es la masa de la probeta seca previo al inicio del ensayo; y A_s es el área de la superficie sumergida.

REFERENCIAS

UNE EN 1925:1999 "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad"

UNE-EN 772-11: 2001 " Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absoción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería".

UNE-EN 772-11: 2001/A1 Complementa y modifica la norma anterior.

PROCEDIMIENTO

En primer lugar, se seca el material a (60±5)°C hasta obtener masa constante. Se considera masa constante cuando la diferencia entre pesadas sucesivas es inferior a 0,1%.

Una vez seco se dejan enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente. A continuación se registra el peso seco, m_0, y se mide la superficie de contacto con el agua, A_s.

Se colocan sobre un soporte de modo para que la probeta con esté en contacto con el fondo del recipiente y éste se rellena de agua hasta alcanzar una altura de 5±1mm. Este nivel de agua se mantendrá constante durante todo el ensayo, añadiendo más agua si fuera necesario. Si la superficie fuera muy irregular, se aumenta el nivel de agua para que toda la superficie de contacto esté sumergida.

A intervalos de tiempo de 1, 3, 5, 10, 15, 20 y 40 minutos se extraen las probetas, se secan ligeramente y se pesan y registran los resultados como m_{ti} (masa correspondiente a un tiempo i). Después se vuelven a colocar con la mayor rapidez.

El incremento de la masa en función del área ($\Delta m=(m_t-m_0)/A_s$) de contacto se relaciona gráficamente con la raíz cuadrada del tiempo.

El coeficiente de capilaridad se calculará para t=60s y t=2400s.

PRÁCTICA DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD

Nombre: **Nº exp:**

Material 1:

Tabla de resultados:

T (seg.)	$\sqrt{t}$	P-1 (g)	Δm	P-2 (g)	Δm	P-3 (g)	Δm	$C_{c,t}$ (medio)
0								
60								
180								
300								
600								
900								
1200								
2400								

Tabla de resultados:

T (seg.)	$\sqrt{t}$	P-4 (g)	Δm	P-5 (g)	Δm	P-6 (g)	Δm	$C_{c,t}$ (medio)
0								

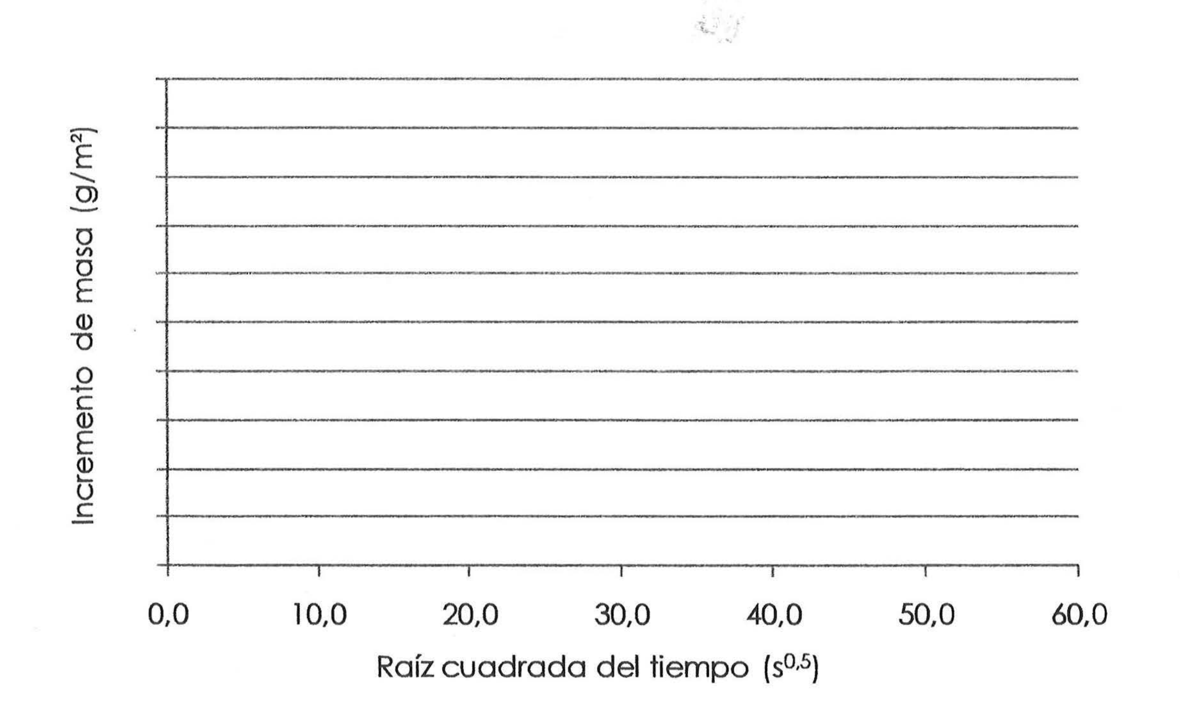


Tabla comparativa:

	Pétreos			Cerámicos		
Material						
$C_{c,60}$						
$C_{c,2400}$						
$C_{c,i}$						

RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN

Los materiales tradicionales de construcción, a excepción de la madera y el acero, suelen presentar una limitada resistencia a la tracción, lo que da lugar a la frecuente aparición de fisuras en su masa (aunque éstas pueden además ser consecuencia de otros fenómenos). En este sentido, el ensayo a flexotracción es un método indirecto que aporta el conocimiento sobre la capacidad resistente de los materiales frente a esfuerzos de tracción.

El ensayo se lleva a cabo sobre probetas prismáticas apoyadas sobre dos soportes inferiores mientras que la carga es aplicada en el centro del vano. En el caso de los hormigones, la normativa también permite aplicar la carga en dos puntos centrales ubicados a un tercio de la luz.

REFERENCIAS

UNE EN 772-6 2002 "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 6: Determinación de la resistencia a flexotracción de las piezas de hormigón de árido para fábrica de albañilería"

UNE EN 1015-11 2000: "Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido".

UNE EN ISO 10545-4 1997: "Baldosas cerámicas. Parte 4: Determinación de la resistencia a flexión y de la carga de rotura".

UNE EN 12372 2007: "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada".

UNE EN 13279-2 2006: "Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo"

PROCEDIMIENTO

El ensayo consiste en determinar la resistencia mecánica máxima de las probetas cuando éstas se someten a esfuerzos de tracción hasta alcanzar la rotura. Comúnmente, este ensayo es previo al de compresión, empleándose para el mismo las piezas resultantes de la rotura a flexión.

Para ensayar los morteros de cemento, cal y mezclas de yeso se fabrican piezas prismáticas estándares de 16x4x4cm, mientras que las dimensiones de las probetas de hormigón son de 40x10x10cm. En cuanto a las velocidades de carga:

- En los morteros de cemento y/o cal, la distancia entre rodillos es de (100±0.5)mm y se ensayan a 28 días de curado, comúnmente. La velocidad de carga, en este caso, está comprendida entre 10-50 N/s para que la rotura se produzca entre 30-90s.
- Mezclas de yeso, la distancia entre apoyos es la misma que la de los morteros de cemento y/o cal, aunque no se especifica velocidad de ensayo. Al igual que la anterior, el número de probetas mínimo es de tres.

La resistencia a compresión, σ_f de la muestra ensayada, en N/mm^2, se obtiene como la relación de la carga máxima soportada por la misma, expresada en Newtons, en función de la distancia entre apoyos, L, en mm, y la inercia de la probeta, en mm^3.

PRÁCTICA DE RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN

Nombre: **Nº exp:**

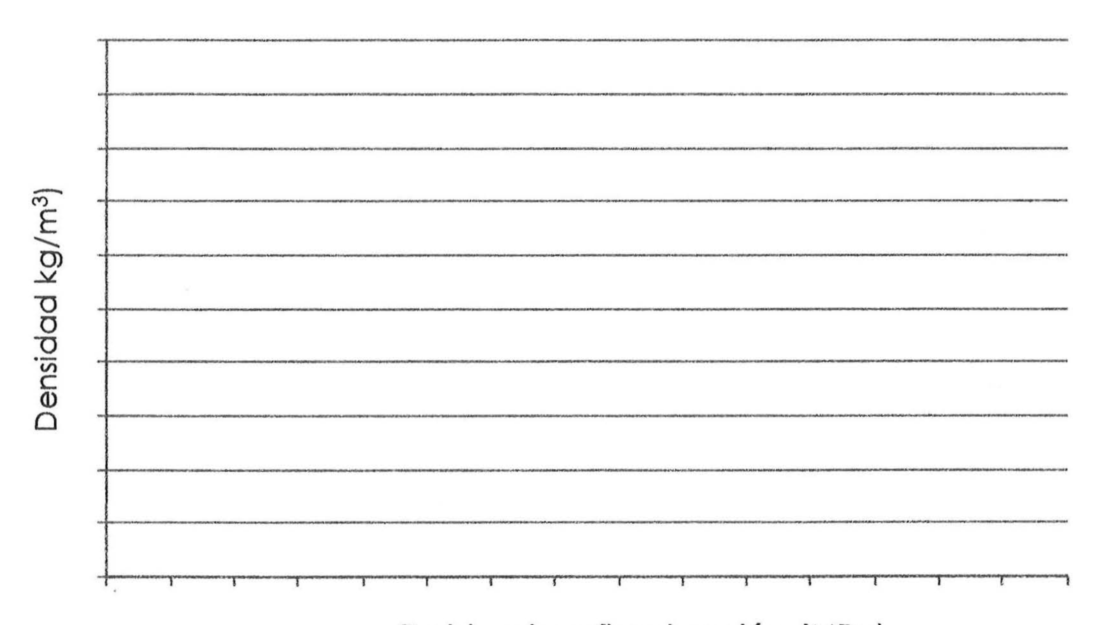
Material 1:

	Densidad (kg/m³)	Carga máxima a flexotracción (N)	Canto de la probeta (mm)	Ancho de la probeta (mm)	σ_f (N/mm²)
Probeta 1					
Probeta 2					
Probeta 3					
Media					

Tabla comparativa:

	Yesos y escayolas		Cales		Cementos	
Material						
σ_f (MPa)						

Comparación de resultados:



RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Los materiales constructivos resisten solicitaciones a compresión, tracción y flexión. El conocimiento del comportamiento mecánico de los materiales de construcción es esencial para evaluar su adecuación al uso previsto.

En concreto, la resistencia a compresión proporciona información sobre el esfuerzo máximo al que puede ser sometido un determinado material cuando se le aplica carga a una determinada superficie. Esta propiedad está ligada a distintas propiedades inherentes de cada material como su calidad, el contenido de poros, así como también a la forma y dimensiones de la probeta de ensayo. A tal respecto, cuando las probetas son sometidas a compresión, aparecen en su masa esfuerzos a tracción que tratan de equilibrar aquéllos y que son los causantes de la rotura en forma de conos de las probetas. Cuando la probeta dispone de un espesor limitado, dichos conos no llegan a tocarse por lo que su resistencia aumenta, sucediendo lo contrario cuando se ensayan probetas esbeltas. De ahí que la norma establezca las dimensiones de cada probeta de cara a que los resultados obtenidos sean comparables.

Por otra parte, dado que la mayor parte de los materiales de construcción son heterogéneos, las normas contemplan la rotura de varias probetas para la obtención de valores de resistencia representativos dando lugar a lo que se denominan "resistencias medias" y a las "características".

REFERENCIAS

UNE 22950-90-1 de 1990 "Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 1: Resistencia a la compresión uniaxial"

UNE EN 772-1 2002 "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión"

UNE EN 1052-1 1998: "Métodos de ensayo para fábricas de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión".

UNE EN 1015-11 2000: "Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido".

UNE EN 1926 2007. "Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la resistencia a la compresión uniaxial".

UNE EN 12390-3 de 2009 "Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas".

UNE EN 12390-4 de 2001 "Ensayos de hormigón endurecido. Parte 4: Resistencia a compresión. Características de las máquinas de ensayo".

UNE EN 13279-2 2006: "Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo"

PROCEDIMIENTO

El ensayo consiste en determinar la resistencia mecánica máxima de las probetas cuando éstas se someten a esfuerzos de compresión hasta alcanzar la rotura.

Antes de iniciar el ensayo se determina la densidad, en estado natural, de la probeta objeto de ensayo. A continuación, se comprueba que dos de las caras opuestas de la misma sean planoparalelas y perpendiculares al eje axial, dado que serán éstas sobre las que después se aplique la carga. Si ello no se cumpliera existen cuatro métodos de ajuste, contemplados por las normativas[1], para lograrlo: pulido, refrentado mediante caja de arena, refrentado con mortero de cemento de aluminato de calcio y refrentado con una mezcla de azufre. No obstante, de éstas, la que se considera de mayor precisión es la primera, siendo además, la aceptada en todos los casos.

Una vez asegurado que las probetas disponen de caras plano-paralelas, se limpian los platos de carga de la máquina y se coloca la muestra en la prensa, centrada respecto al plato inferior, aunque también habrá de colocarse centrada respecto al superior en el caso de emplear platos auxiliares. A continuación, se selecciona una velocidad de carga constante, en función del material de ensayo:

- Mortero de cal y/o cemento, la velocidad ha de aumentar progresivamente entre 50-500 N/s en función de la categoría del mortero, de tal forma que cuánto menor es ésta, menor es la velocidad de aplicación de la carga (ver tabla B.1 de la UNE EN 1015-11:1999/A1: 2006). La rotura ha de producirse entre medio minuto y un minuto y medio. En el caso de las probetas de yeso, no se especifica.

La resistencia a compresión, σ_c, de la muestra ensayada, en N/mm², se obtiene como la relación de la carga máxima soportada por la misma, expresada en Newtons, y la superficie sobre la cual se aplica ésta, en mm².

[1] En el caso de las probetas de roca, la normativa correspondiente sólo admite pulido. En las piezas de albañilería, el refrentado se realiza con mortero de cemento y arena de resistencia mínima 30 N/mm².

PRÁCTICA DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Nombre: **Nº exp:**

Material 1:

Tabla de resultados:

	Densidad (kg/m³)	Carga máxima a compresión (N)	Superficie de carga (mm²)	σc (N/mm²)
Probeta 1				
Probeta 2				
Probeta 3				
Media				

Tabla comparativa:

	Yesos y escayolas		Cales		Cementos	
Material						
σ_c (MPa)						

Comparación de resultados:

Densidad kg/m³)

Resistencia a compresión (MPa)

MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO

Una de las propiedades características de los materiales es su módulo de elasticidad que establece la relación entre su deformación y la tensión a la que le somete y, a partir del cual, se puede estimar su comportamiento cuando se emplean en estructuras.

A pesar del interés del conocimiento de dicha característica, la determinación del módulo de elasticidad estático exige la rotura del material de estudio, no siendo viable en determinadas circunstancias, se recurre al módulo de elasticidad dinámico que es una aproximación al módulo de Young de carácter no destructivo. Éste tiene la ventaja de poder ser determinado in situ para estimar tanto las características resistentes del material objeto de estudio como también el avance de su degradación.

El instrumento dispone de un par de palpadores, uno que emite impulsos electroacústicos que son recibidos por el otro, esto es, un receptor. La medida obtenida es el intervalo de tiempo, entre el comienzo de la onda y su llegada al receptor, que la onda tarda en atravesar una longitud conocida del material de estudio. La frecuencia mínima del instrumento ha de ser de 20 kHz.

Entre las características que definen la medida de la velocidad del impulso figuran la colocación de los palpadores y su acoplamiento al material de estudio así como la longitud de la trayectoria entre emisor y receptor; pero, además, interfieren factores tales como la forma y tamaño de la muestra, las propiedades físicas del material, su temperatura y contenido de humedad y los defectos de su masa como grietas, fisuras y coqueras.

REFERENCIAS

UNE EN 12504-4 2006: "Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 4: Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos"

UNE EN 14146 2004 "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del módulo de elasticidad dinámico (con la medida de la frecuencia de resonancia fundamental)"

NBN B15-229: 1976 "Essais des betons. Essais non destructifs mesure de la vitesse du son"

PROCEDIMIENTO

En primer lugar, para reducir el error derivado de la longitud de la trayectoria, se marca el centro geométrico de las dos caras paralelas, sobre las que después se colocarán los palpadores.

A continuación se coloca la probeta en la base de apoyo y se aplica una capa muy delgada de gel de acoplamiento en los puntos marcados sobre los que se ejercerá una presión similar a la empleada en la calibración del instrumento. Los palpadores se han de mantener durante unos segundos, tomando sucesivas lecturas hasta la obtención de un valor mínimo que será el correspondiente a su adecuada colocación.

La velocidad de propagación se determina como la relación entre la longitud de recorrido y el tiempo que tarda en recorrerlo: $v = L/t$. Mientras que el módulo de elasticidad dinámico, E_{dyn} o MOE, en MPa o N/mm^2, se realiza con la expresión:

$$E_{dyn} = [f(v) \cdot \rho \cdot v^2] \cdot 10^{-6}$$

Siendo, ρ es la densidad aparente en kg/m³ y v la velocidad de propagación, en m/s, calculada a partir de la distancia entre los puntos de medida, en metros, y del tiempo registrado por el aparato de ultrasonidos, en segundos, y f(v) un factor cuyos valores son aportados en una tabla (adjunta a continuación), en función del coeficiente de Poisson y que responde a la relación entre las dimensiones de la probeta y la longitud de onda del instrumento (teniendo en cuenta que 1 Hz equivale a 2.998x10¹¹ mm de longitud de onda). De tal forma que, los valores dados en la columna de $f(v)_1$ se emplean para aquéllos casos en los que sólo una de las tres dimensiones de la probeta sea superior a tres veces la longitud de onda del instrumento; los de la $f(v)_2$ cuando dos dimensiones sean mayores de dicho valor, obteniéndose a partir de la expresión: $(1-v^2)$; y, finalmente, se utilizarán los de la $f(v)_3$ cuando las tres dimensiones sean, al menos, iguales a tres veces la longitud de onda, cuyos valores se obtienen a partir de la expresión:

$$\frac{(1+v)\cdot(1-2v)}{(1-v)}$$

v	$f(v)_1$	$f(v)_2$	$f(v)_3$
0	1.0	1.0	1.0
0.05	1.0	0.998	0.995
0.10	1.0	0.99	0.975
0.15	1.000	0.978	0.950
0.18	1.000	0.968	0.922
0.20	1.000	0.960	0.900
0.22	1.000	0.952	0.877
0.25	1.000	0.938	0.833
0.27	1.000	0.927	0.800
0.30	1.000	0.910	0.742
0.32	1.000	0.898	0.698
0.35	1.000	0.878	0.625
0.37	1.000	0.863	0.566
0.40	1.000	0.840	0.467
0.45	1.000	0.798	0.264

NBN B15-229 de 1976: página 7

PRÁCTICA DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO

Nombre: **Nº exp:**

Frecuencia del instrumento Hz
Longitud de onda del instrumento mm

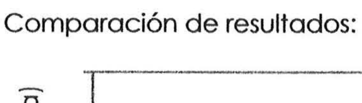
Dimensiones de la probeta: mm
Dimensión 1/longitud de onda:
Dimensión 2/longitud de onda:
Dimensión 3/longitud de onda:

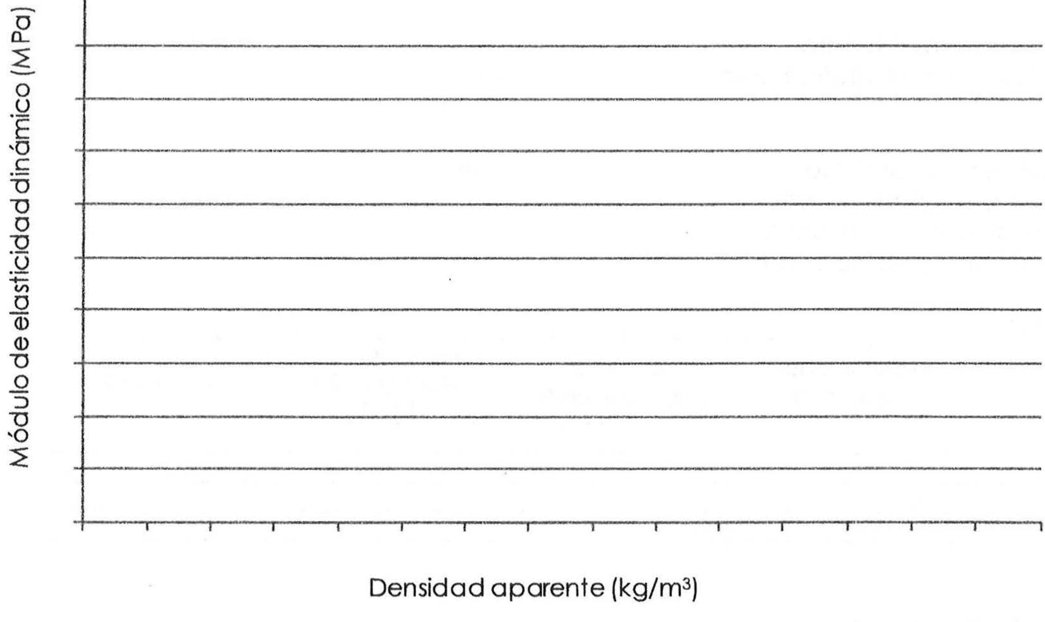
Material 1:

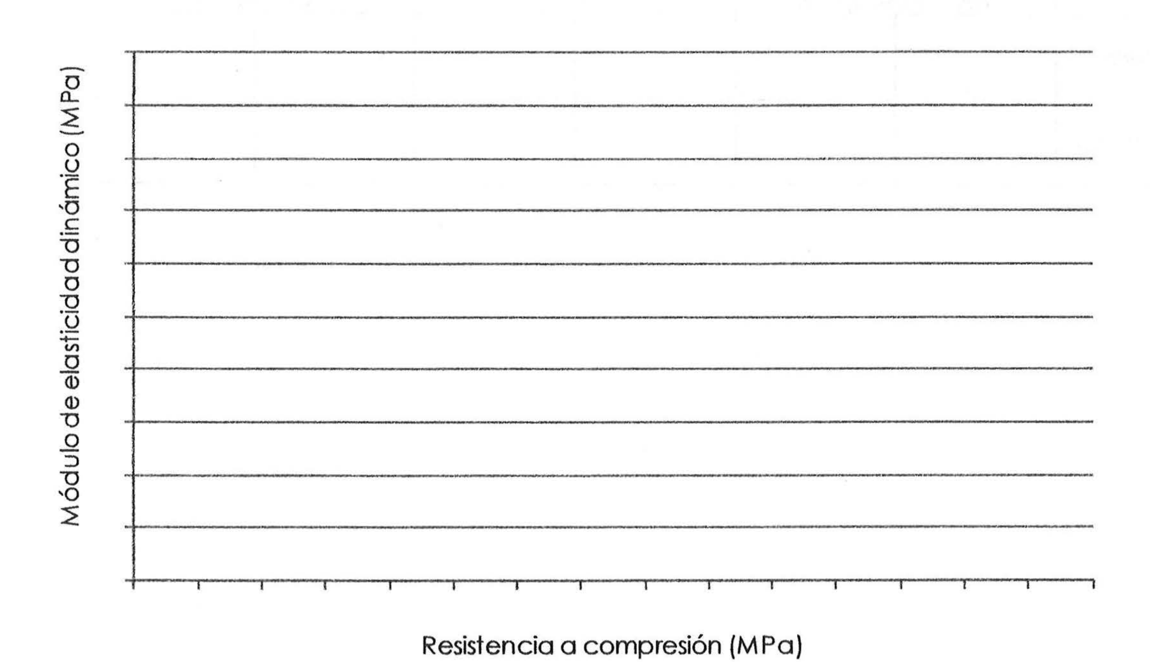
	Longitud de recorrido (m)	Tiempo de propagación (s)	Velocidad de propagación (m/s)	E_{dyn} (MPa)
Probeta 1				
Probeta 2				
Probeta 3				
Media				

Tabla comparativa:

	Yesos y escayolas		Cales		Cementos	
Material						
E_{dyn} (MPa)						


Comparación de resultados:





DUREZA Y RESISTENCIA MECÁNICA CON ESCLERÓMETRO

El comportamiento mecánico de los materiales constructivos puede ser estimado mediante la aplicación de distintas técnicas entre las que figura la dureza superficial con esclerómetro. Este ensayo, de carácter no destructivo, se emplea para identificar áreas no homogéneas en términos comparativos de dureza superficial, asimismo, sirve para estimar la resistencia mecánica en algunos materiales tales como los hormigones.

El instrumento consta de un cuerpo de acero que es impulsado sobre la superficie de una muestra de tal forma que se recoge la fracción de energía rebotada a partir de la cual se puede estimar la resistencia a compresión y la dureza superficial del material objeto de ensayo.

De acuerdo con la norma UNE EN 12504-2, las probetas han de disponerse sólidamente sujetas y su espesor mínimo ha de ser de 100 mm aunque se permite que sea menor. Es importante que la superficie objeto de estudio no esté exfoliada o presente una textura rugosa habiendo, en este caso, de ser sometidas a un tratamiento previo.

REFERENCIAS

UNE EN 12504-2 de 2002 "Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 2: Ensayos no destructivos. Determinación del índice de rebote".

PROCEDIMIENTO

Antes de iniciar el ensayo, ha de comprobarse la adecuada calibración del esclerómetro. Para ello, se realizarán y registrarán las lecturas obtenidas sobre el yunque de tarado de tal forma que sus resultados se encuentren en el rango establecido por el fabricante. En caso contrario, se limpiarán y ajustarán antes de la realización de los ensayos.

Para la obtención de la medida, se sujeta firmemente el esclerómetro para que el impacto sea perpendicular a la superficie de ensayo. Una vez que el vástago ha sido impulsado y ha golpeado la superficie, se anota el valor del índice de rebote. De acuerdo con la norma UNE EN 12504-2, se han de registran nueve lecturas. La posición de los puntos de impacto será tal que la distancia entre ellos y al borde de la pieza sea superior a 25 mm. Se descartan aquéllas medidas en las que se observe que fisuración o rotura de la superficie, consecuencia del impacto recibido.

PRÁCTICA DE DUREZA Y RESISTENCIA MECÁNICA CON ESCLERÓMETRO

Nombre: **Nº exp:**

Material 1: Densidad: kg/m³

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IR									
Media									

Material 2: Densidad: kg/m³

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IR									
Media									

DUREZA SUPERFICIAL BRINELL

(En colaboración con el profesor Santos García Álvarez)

La cohesión es la resistencia de los átomos a separarse unos de otros. Para conocer la cohesión en un material se realizan ensayos de dureza y tamaño del grano. Por tanto, se puede definir la dureza como la medida de la capacidad del material de oponer resistencia a la deformación plástica localizada (por ejemplo, una pequeña abolladura o ralladura). Sin embargo, los valores numéricos que se le asignan, se refieren únicamente al método particular que se ha empleado en su determinación.

Existen diferentes métodos para determinar la dureza superficial de los materiales de construcción. Entre otros:

Dureza al Rayado
Resistencia que opone un material a dejarse rayar por otro.

Los primeros ensayos de dureza se basaban en el comportamiento de los minerales según la capacidad de un material para rayar a otro más blando. Un método cualitativo de ordenar de forma arbitraria la dureza es mediante la escala de Mohs, que se usa para determinar la dureza de los minerales.

Escala de Mohs	**Equivalencia en metales**
1 - Talco	1-1,5 – Plomo
2 - Yeso	2 - Estaño
3 - Calcita	2,5 – Zinc / 1,5-3 – Cobre, plata, oro
4 - Fluorita	3,5 – Bronce
5 - Apatita	4,5 – Platino/ 5 Acero al carbono
6 - Feldespato (Ortosa)	
7 - Cuarzo	
8 - Topacio	8 – Acero templado
9 - Corindón	8,5-9 – Fundición grios
10 – Diamante	

Dureza a la penetración
Resistencia que opone un material a dejarse penetrar por otro más duro. Esto depende más de la capacidad de aumentar la resistencia por deformación que del límite elástico, por lo que guarda una estrecha relación con la resistencia a rotura.

A lo largo de los años se han desarrollado técnicas cuantitativas de dureza que se basan en un pequeño penetrador que es forzado sobre una superficie del material a ensayar en condiciones controladas de carga y velocidad de aplicación. En estos ensayos se mide la profundidad o tamaño de la huella resultante, lo cual se relaciona con un número de dureza; cuanto más blando es el material, mayor y más profunda es la huella, y menor es el número de dureza. Los métodos más empleados son el de Brinell, el de Rockwell y el de Vickers.

La dureza Herziana viene determinada por la menor carga que hay que aplicar a un material (con bolas de 1,5-4 mm de acero extraduro) para que deje huella.

Para ensayar la dureza superficial a la penetración estática se suele emplear el método Brinell que consiste en comprimir una bola de acero templado, de un diámetro determinado, sobre un material a ensayar, por medio de una carga y durante un tiempo también conocido. Este ensayo no es adecuado para medir la dureza superficial de los aceros endurecidos en superficie, porque intervienen también las capas inferiores que no han sido tratadas.

El método Rockwell se basa en la resistencia que oponen los materiales a ser penetrados, se determina la dureza en función de la profundidad de la huella. Permite medir durezas en aceros templados.
Ventajas del método Rockwell:
- - Método rápido y preciso, no necesita operarios especializados.
- - Huellas más pequeñas que el método Brinell.

Inconveniente:
- Si el material no asienta perfectamente, las medidas resultan falseadas.

El método Vickers se deriva directamente del método Brinell. Se emplea mucho en laboratorio y en particular para piezas delgadas y templadas, con espesores mínimos hasta de 0,2 mm. Se utiliza como penetrador una punta piramidal de base cuadrangular y ángulo en el vértice entre caras de 136°. Este ángulo se eligió para que la bola Brinell quedase circunscrita al cono en el borde de la huella.
Ventajas del método Vickers:
- Las huellas Vickers son comparables entre sí; independientes de las cargas.
- Pueden medirse una amplia gama de materiales, desde muy blandos hasta muy duros.
- Se pueden medir piezas muy delgadas con cargas pequeñas, hasta espesores de orden de 0,05 mm.
- Puede medirse dureza superficial. (para determinar recubrimientos de los materiales)
- La escala Vickers es más detallada que la Rockwell; 32 unidades Vickers = 1 unidad Rockwell
- Como es preciso examinar la huella puede comprobarse el estado del penetrador.

REFERENCIAS

UNE-EN 13279-2:2004 "Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: métodos de ensayo".

UNE-EN ISO 6506-1:2006 "Materiales metálicos. Ensayo de dureza Brinell. Parte 1: Método de ensayo".

UNE-EN 1534:2010 "Suelos de madera. Determinación de la resistencia a la huella (Brinell) Métodos de ensayo".

PROCEDIMIENTO

En ésta práctica, mediremos la resistencia que oponen los cuerpos a la penetración. Este tipo de ensayo consiste en aplicar y comprimir progresivamente sobre la probeta, bajo la acción de una carga estática conocida, un penetrador o identador de forma determinada.

La muestra o probeta se coloca sobre una plataforma rígida y la aplicación de la carga se realiza directamente en dirección perpendicular a la superficie.

Para realizar el ensayo en probetas de mortero:
Las medidas se efectuarán sobre las dos caras longitudinales correspondientes a los lados el molde, a razón de tres medidas por cara, con un total de 6 medidas. Se repartes estas medidas sobre el eje longitudinal con intervalos de 20mm como mínimo entre los diferentes puntos y los extremos de los prismas.
Se aplica una precarga de 10N y en 2s se incrementa a 200±10N. Después de 15s se descarga y se mide la profundidad de penetración en mm. (Se eliminan los valores manifiestamente erróneos debidos a la presencia de burbujas de aire ocluido).

La dureza (Hardness) se expresa en N/mm² por el cociente de la fuerza aplicada, en Newtons, entre la superficie de la huella esférica impresa, en mm² y según la fórmula:

$$H = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot t} = \frac{200N}{\pi \cdot 10mm \cdot t} x1000 = \frac{6369}{t} (N/mm^2)$$

Donde *F* es la fuerza en Newtons; *D* es el diámetro de la esfera en mm y *t* es la profundidad media de las huellas en micras.

Para realizar el ensayo en probetas metálicas:
Se debe llevar a cabo sobre una superficie lisa y uniforme, libre de óxido y lubricantes. Se aplica la fuerza de ensayo (29,42kNen dirección perpendicular a la superfice, el tiempo transcurrido entre la aplicación inicial de fuerza y el momento en que se alcanza la fuerza total de ensyao no debe ser menor de 2s ni mayor de 8s. Se mantiene esta fuerza de ensayo entre 10 y 15s.

La distancia mínima entre los centros de dos huellas ha de ser al menos de tres veces el diámetro medio de la huella y de al menos dos veces y media respecto al borde de la probeta.

La dureza Brinell (HBW) se expresa:

$$HBW = 0{,}102 \times \frac{2F}{\pi D^2 \left(1 - \sqrt{1 - d^2 / D^2}\right)} (N/mm^2)$$

Donde:
d es el diámetro medio de la huella (d1+d2)/2;
F es la fuerza de ensayo en N
D es el diámetro de la bola en mm.

Para designar la huella se emplea la siguiente nomenclatura: XXX HBW D/F/t

Donde:
D es el diámetro de la bola en mm;
F es la fuerza de ensayo en kgf;
t es el tiempo de aplicación de la fuerza de ensayo en segundos.

Elección de la fuerza de ensayo (Según UNE-EN ISO 6506-1:2006):

Símbolo de dureza	**Diámetro de bola D (mm)**	**Relación fuerza-diámetro 0,102F/D² (N/mm²)**	**Valor nominal de la fuerza de ensayo F**
HBW 10/3 000	10	30	29,42 kN
HBW 10/1 500		15	14,71 kN
HBW 10/1 000		10	9,807 kN
HBW 10/500		5	4,903 kN
HBW 10/250		2,5	2,452 kN
HBW 10/100		1	980,7 N

Relación $0{,}102F/D^2$ para distintos materiales metálicos (Según UNE-EN ISO 6506-1:2006):

Material	**Dureza Brinell HBW**	**Relación fuerza diámetro $0{,}102F/D^2$ (N/mm^2)**
Acero, aleaciones de níquel y de titanio		30
Fundición	< 140	10
	≥ 140	30
Cobre y aleaciones de cobre	< 35	5
	35-200	10
	> 200	30
Metales ligeros y sus aleaciones	< 35	2,5
	35-80	5/10/15
	> 80	10/15
Plomo, estaño		1

Para realizar el ensayo en probetas de madera:

Se coloca la probeta sobre la superficie del dispositivo de aplicación de la carga y se aproxima el marcador a la superficie de la probeta. Se aplica la fuerza aumentando progresivamente de forma que se alcance el valor nominal de 1kN en 15±3segundos. Se mantiene la fuerza en este valor durante 25±5 segundos. Se retira completamente el marcador.

La distancia desde el centro de la huella a cualquiera de los cantos de la probeta o a otro hueco no debe ser menos de 20mm.

Antes de medir la huella se espera al menos tres minutos y se toman dos medidas del diámetro de la huella, una en dirección de la fibra y otra perpendicular. El contraste en el borde de la huella puede mejorarse con iluminación adecuada o con mina de grafito.

La dureza Brinell HB se calcula en N/mm^2 con precisión de dos decimales según la expresión:

$$HB = \frac{2F}{\pi D^2\left(1-\sqrt{1-d^2/D^2}\right)} (N/mm^2)$$

Donde:

d es el diámetro medio de la huella $(d1+d2)/2$;

F es la fuerza de ensayo en N

D es el diámetro de la bola en mm.

PRÁCTICA DE DUREZA SUPERFICIAL BRINELL

Nombre: **Nº exp:**

Conglomerante:

Material	Profundidad Huella	Media	Dureza (H)

Metal:

Material	Relación fuerza diámetro	Fuerza	Diámetro medio Huella	Dureza (HBW)

Madera:

Material	Diámetro medio Huella	Dureza (HBW)

Comparación entre materiales:

Material	Dureza

DUREZA SUPERFICIAL SHORE

El durómetro se emplea para medir la resistencia de un material a la penetración permanente. La escala de dureza fue definida por Albert F. Shore, en la década de 1920.
Se suele emplear el durómetro Shore, en sus diferentes escalas, para la medida de la dureza de polímeros, elastómeros, cauchos y conglomerantes. Cada una de las escalas emplea una punta diferente. La más común para conglomerantes suele ser la escala C, con un cono truncado de 35° de ángulo, y un muelle con 44,5N de fuerza. Los durómetros de escala D tienen una punta cónica de 30°.
La medida final depende de la profundidad con que penetre el cono del indicador, si llega hasta 2,54mm (una pulgada) la medida será cero, y será necesario emplear una escala menor. Si la punta no llega a penetrar del todo, la medida será 100 y se debería buscar una escala superior. Las diferentes escalas no están relacionadas directamente (no hay equivalencias lineales); pero sí existen relaciones semiempíricas entre la dureza Shore de determinadas escalas y el módulo de elasticidad de algunos materiales.
Por eso con la medición de la dureza Shore se obtiene información relacionada con módulo de elasticidad, plasticidad, resistencia a la compresión y elasticidad de un material (o elemento constructivo) con un ensayo no destructivo.

REFERENCIAS

UNE 102-139-85 "Yesos y escayolas de construcción. Determinación de la dureza Shore C y de la dureza Brinell".

PROCEDIMIENTO

Fundamento del método: un resorte imprime una fuerza dada a una barra que termina en un penetrómetro de forma troncocónica. La dureza se indica en unidades Shore C en una escala de 0 a 100. La fuerza que se aplica para una dureza de 100 es 44,5N

Las medidas han de efectuarse sobre dos caras longitudinales de la probeta, con la precaución de colocar la probeta sobre una superficie estable. Hay que asegurarse de que las superficies a medir estén planas y lisas, secas y exentas de eflorescencias o de partículas de cal Se toman como mínimo 5 valores por cada cara. En caso de grandes diferencias con respecto al valor medio, se repite la medida.

Cuando se toman medidas en elementos constructivos (como paredes o techos) hay que evitar las superficies demasiado pequeñas como enlucidos con restos de amasadas o las zonas de unión entre dos amasadas. Se divide la superficie a medir en dos diagonales y se toman cinco medidas por sector (20 medidas en total). El número de medidas puede aumentar o disminuir en función de la superficie total (al menos una medida por m^2 de superficie)

PRÁCTICA DE DUREZA SUPERFICIAL SHORE

Nombre: **Nº exp:**

Conglomerante 1:	Medidas
Cara 1	
Cara 2	
Dureza Shore C	

Conglomerante 2:	Medidas
Cara 1	
Cara 2	
Dureza Shore C	

NOTAS

CUADERNO

325.01

Cuadernos.ijh@gmail.com
info@mairea-libros.com

